



Procesos de Cogeneración de la Industria Forestal

Según la definición del Proyecto Definitivo de la Norma de emisión para centrales termoeléctricas, elaborado a partir del DS. N°13, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente (“MMA”), la cogeneración es un proceso en el que se produce de manera simultánea energía térmica (calor útil) y eléctrica a partir de unidad/es o equipo/s con consumo energético o combustible primario.

En el contexto de las Plantas de Celulosa, existen unidades de cogeneración asociadas a calderas de poder, pero la energía térmica y eléctrica la producen indistinta y/o simultáneamente las calderas recuperadoras y de poder. Respecto de la energía eléctrica y térmica, se usa en el proceso de producción de celulosa. Por su parte, un excedente, en el caso de la energía eléctrica, puede ser inyectado al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), pero sin ser este su giro de negocios principal.

A continuación, se detalla el Proceso de Cogeneración asociado a las Plantas de Celulosa, para dar cuenta de que no es comparable con el régimen de operación de una Central Termoeléctrica. Asimismo, se exponen las principales diferencias entre ambos regímenes de operación, dando cuenta de varios factores claves que diferencian estos dos tipos de instalaciones, principalmente, en cuanto a su operación y estabilidad.

Lo anterior permitirá proponer ajustes necesarios para el Proyecto Definitivo en cuestión.

Proceso de Cogeneración en Plantas de Celulosa

La cogeneración en las plantas de celulosa es un proceso que genera simultáneamente energía eléctrica y térmica, utilizando el calor producido en las calderas. Las calderas recuperadoras emplean los combustibles biogénicos presentes en la madera, como el licor negro generado durante el proceso de producción de celulosa, mientras que las calderas de poder utilizan biomasa y gases del proceso para generar vapor y electricidad. El principal objetivo de estas calderas es producir vapor y energía para el uso interno en la producción de celulosa. Sin embargo, las optimizaciones en eficiencia permiten que el excedente de energía generado sea inyectado al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) bajo el concepto de cogeneración.

1. **Producción de Vapor:** La celulosa se produce mediante la cocción de madera en un proceso químico que como resultado genera pulpa de celulosa y licor

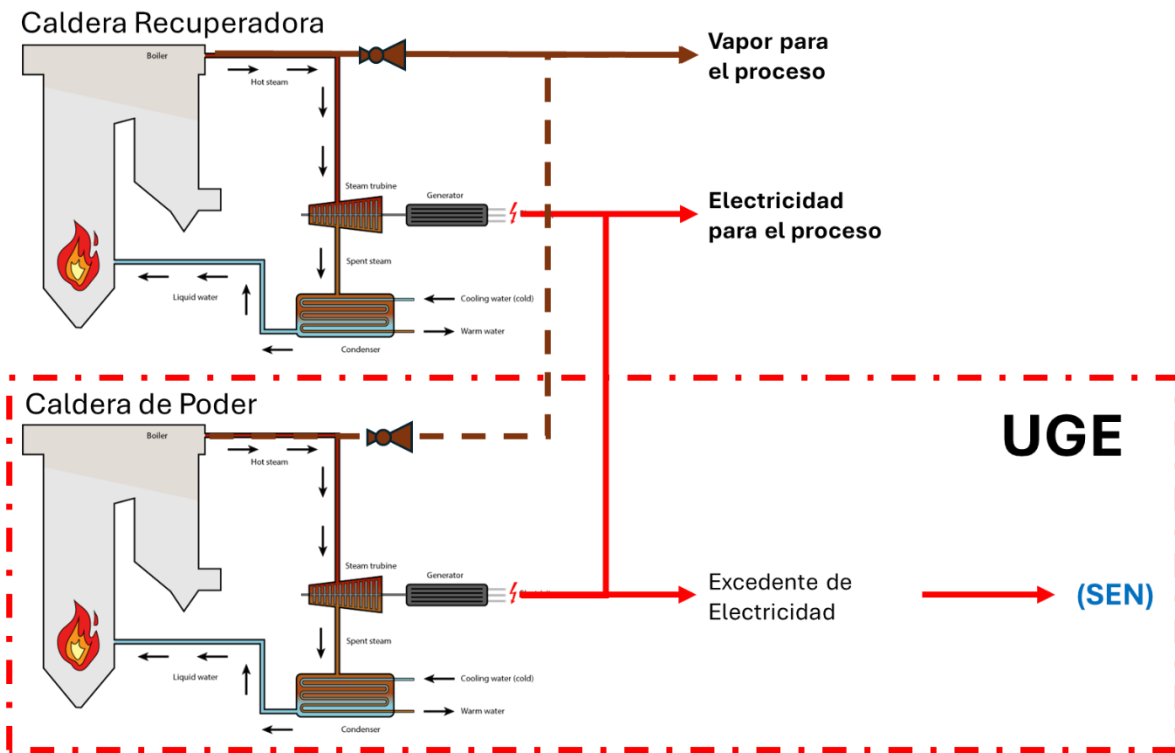


negro, el cual contiene preferencialmente la lignina y otros componentes de la madera¹ y los componentes inorgánicos remanentes del proceso cocción. El licor negro concentrado se combustiona en la caldera recuperadora, la cual actúa como un reactor químico, con la función de recuperar estos componentes químicos, lo cual ocurre mediante reacciones de oxidoreducción. A su vez, en este mismo proceso se aprovecha el calor generado por la combustión de licor negro (principalmente lignina) generando vapor de alta presión.

2. **Generación de Energía Eléctrica:** Para que el vapor de alta presión producido en la caldera recuperadora y caldera de poder pueda ser utilizado en los procesos debe ser transformado en vapor de media y baja presión. Este proceso se puede lograr de dos formas; (i) en una turbina; o (ii) en una válvula reductora. Cuando el vapor es utilizado en una turbina parte de su energía es aprovechada para generar energía eléctrica para uso interno a fin de lograr la mayor autosuficiencia energética y, en caso de generarse excedentes, estos pueden ser inyectados al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Cabe señalar que, en algunas plantas existen turbinas de condensación, las cuales aprovechan el excedente de vapor generado que no es utilizado en los procesos productivos de la Planta para generar energía eléctrica.
3. **Utilización del Calor Residual:** El vapor de salida de la turbina es utilizado en los procesos de intercambio de calor propios de la Planta.
4. **Beneficios de la Cogeneración:**
 - **Eficiencia Energética:** Al aprovechar tanto la energía eléctrica como la térmica, la cogeneración es mucho más eficiente que generar electricidad y calor por separado.
 - **Reducción de Emisiones:** El uso del licor negro como combustible biogénico (lignina-biomasa) en la caldera de recuperación y, de biomasa en la caldera de poder, permite que las Plantas de Celulosa optimicen y aprovechen de manera eficiente la biomasa, disminuyendo la necesidad de combustibles fósiles y reduciendo las emisiones de CO₂.

¹ La lignina y otros componentes de la madera constituyen un combustible renovable dado que es obtenido a partir de la madera.

- **Autosuficiencia Energética y Energía Limpia:** En la actualidad² las Plantas de Celulosa generan más energía de la que necesitan para operar, lo que les permite vender el excedente de electricidad a la red eléctrica. Al no consumir energía de la red eléctrica, contribuyen a la reducción de la producción y generación de CO₂, promoviendo el uso de energía limpia y aportando energía limpia, bajando la huella de carbono de la matriz energética del país.



En Chile, las Plantas de Celulosa de CMPC, como las plantas Pacífico, Laja y Santa Fe, y de ARAUCO, Plantas de Constitución, Licancel, Nueva Aldea, Arauco y Valdivia, tienen calderas recuperadoras y calderas de poder que permiten la cogeneración, lo que las hace autosustentables energéticamente. Estas instalaciones son un ejemplo de cómo se puede integrar la producción de celulosa con la generación eficiente de energía.

Unidades de generación eléctrica para uso interno

² En el pasado, la totalidad de la energía generada era consumida internamente en los procesos productivos. Sin embargo, diversas optimizaciones implementadas a lo largo del tiempo han permitido aumentar la eficiencia, resultando en la generación de un excedente energético que ha sido posible inyectar al SEN



Planta	Establecimiento (Código VU RETC)	Fuente	N° Registro RFP VU RETC	Combustible Primario	Potencia Térmica [MWt]
Constitución	VU-2396	Caldera Recuperadora	CR-PCL-1640	Licor Negro	247,86
Arauco	VU-2397	Caldera Recuperadora 2	CR-PCL-6494	Licor Negro	461,22
		Caldera Recuperadora 3	CR-PCL-47633	Licor Negro	893,04
Licancel	VU-85016	Caldera Recuperadora	CR-PCL-1869	Licor Negro	133,10
Nueva Aldea	VU-85017	Caldera Recuperadora	CR-PCL-1342	Licor Negro	889,69
Valdivia	VU-85018	Caldera Recuperadora	CR-PCL-1766	Licor Negro	540,68
Laja	VU-3216	Caldera Recuperadora	IN-GEV-9434	Licor Negro	405
Pacífico	VU-322488	Caldera Recuperadora	IN-GEV-15516	Licor Negro	373
Santa Fe	VU-3522	Caldera Recuperadora 1	IN-GEV-20179	Licor Negro	160
Santa Fe	VU-3522	Caldera Recuperadora 2	IN-GEV-20210	Licor Negro	628

Unidades de generación eléctrica para uso interno y externo, UGE

Planta	Establecimiento (Código VU RETC)	Fuente	N° Registro RFP VU RETC	Combustible Primario	Potencia Térmica [MWt]
Constitución	VU-2396	Caldera de Poder	CG-GEV-1638	Biomasa	83,85
Arauco	VU-2397	Caldera de Poder 2	CG-GEV-1434	Biomasa	66,27
		Caldera de Poder 4	CG-GEV-1437	Biomasa	388,55
		Caldera de Poder 5	CG-GEV-47632	Biomasa	490,90
Licancel	VU-85016	Caldera de Poder	CG-GEV-1868	Biomasa	86,56
Nueva Aldea	VU-85017	Caldera de Poder	CG-GEV-678	Biomasa	187,24
Valdivia	VU-85018	Caldera de Poder	CG-GEV-1757	Biomasa	207,76
Viñales	VU-4473	Caldera de Poder	IN-GEV-19074	Biomasa	185,00
Trupán	VU-4586116	Caldera de Poder	IN-GEV-7080	Biomasa	157,10
Laja	VU-3216	Caldera de Poder CB3	CG-GEV-9285	Biomasa	517
Pacífico	VU-322488	Caldera de Poder 1CB	CG-GEV-15538	Biomasa	597
Santa Fe	VU-3522	Caldera de Poder 1CB1	CG-GEV-14980	Biomasa	882
	VU-3522	Caldera de Poder 2 CB2	EL-OR-46236	Biomasa	249
Cordillera	VU-2897	Turbina	IN-GEV-1914	GN	157

Régimen de Operación de Cogeneración v/s Termoeléctrica

Según fue expuesto anteriormente, el régimen de operación de las calderas recuperadoras y calderas de poder en una Planta de Celulosa no se puede comparar con el régimen de operación de una termoeléctrica, específicamente en relación con ritmo y condiciones de operación alcanzada. Podemos considerar varios factores claves que diferencian estos dos tipos de instalaciones en cuanto a su operación y estabilidad:



1. Variabilidad en el Combustible:

- **Caldera Recuperadora:** La principal fuente de combustible en una caldera recuperadora es el licor negro, que es un subproducto del proceso de celulosa. La composición y las propiedades del licor negro pueden variar significativamente dependiendo de la calidad de la madera, el proceso de cocción y las condiciones operativas de la planta de celulosa. La variabilidad en el combustible usado tiene directa incidencia en el ritmo y condiciones de operación de la caldera, por lo que no se cuenta con un único y constante ritmo (nivel) de operación en régimen, pudiendo variar mucho durante la operación.
- **Caldera de Poder:** El combustible principal es la biomasa, compuesta principalmente de corteza y aserrín, en menor medida, de lodos orgánicos. El poder calorífico de la biomasa varía según la calidad de la corteza, la humedad de los lodos orgánicos, el proceso de descortezado, las condiciones de almacenamiento, y la estacionalidad que impacta drásticamente la humedad. Esta variabilidad de la materia prima puede afectar significativamente el ritmo operativo de la caldera de poder (variabilidad en nivel de operación). Además,



la demanda fluctuante de vapor en los procesos de estas plantas genera ajustes en los requerimientos de vapor y, por lo tanto, en el consumo de combustible. Esto incrementa la variabilidad operativa, haciendo necesario un manejo dinámico de la caldera para asegurar el equilibrio entre la producción de vapor y las necesidades energéticas de determinada planta.

- **Termoeléctrica:** En una planta termoeléctrica, el combustible (como carbón, gas natural, petróleo, petcoke e incluso biomasa) es más homogéneo y se suministra controladamente, con un requerimiento constante de combustible y generación de vapor. Esto permite una operación más estable, con menor fluctuación en la producción de energía, mayor control sobre los parámetros de combustión, y, por ende, de sus emisiones

2. Interdependencia con el Proceso de Producción:

- **Caldera Recuperadora:** La caldera recuperadora está intrínsecamente ligada al proceso de producción de celulosa. Cualquier variación en la tasa de producción de licor negro, problemas en la línea de producción, o cambios en la demanda de vapor dentro de la planta pueden afectar directamente el régimen de operación de la caldera. Esto genera una dinámica operativa más compleja y menos predecible.
- **Caldera de Poder:** Similarmente, la caldera de poder está estrechamente relacionada con la producción de celulosa. Problemas en la línea de producción o cambios en la demanda de vapor pueden impactar su operación, añadiendo complejidad y reduciendo la predictibilidad operativa.
- **Termoeléctrica:** En una planta termoeléctrica, la generación de energía está aislada de otros procesos industriales, permitiendo una operación más centrada y controlada. Las condiciones operativas pueden mantenerse más estables ya que no dependen de otros procesos industriales.

3. Control de Emisiones y Tratamiento de Subproductos:

- **Caldera Recuperadora:** Debido a la necesidad de recuperar químicos (como el sulfuro de sodio) del licor negro, la caldera recuperadora debe operar bajo condiciones específicas para maximizar esta recuperación. Además, el manejo de metanol y TRS y emisiones es más complejo debido a la variabilidad en la composición del licor negro. Estas restricciones pueden limitar la flexibilidad operativa y hacer más difícil alcanzar una estabilidad similar a la de una termoeléctrica.



- **Caldera de Poder:** La variabilidad en el poder calorífico de la biomasa hace necesario la utilización de otros combustibles que permitan modular estas variaciones. Estas restricciones limitan la flexibilidad y la estabilidad operativa en comparación con una termoeléctrica.
- **Termoeléctrica:** Aunque las termoeléctricas también deben controlar las emisiones, la naturaleza más estable del combustible y la posibilidad de operar bajo condiciones más constantes permiten un manejo más eficiente y controlado de los subproductos y las emisiones.

4. Demanda Variable de Vapor y Energía:

- **Caldera Recuperadora:** La demanda de vapor en una Planta de Celulosa puede variar significativamente dependiendo de las necesidades del proceso de secado de la pulpa, la operación de otros equipos, y la producción de electricidad. Esta demanda variable influye en la operación de la caldera, lo que hace más difícil mantener un régimen de operación constante.
- **Caldera de Poder:** Para suplir la demanda variable de vapor en una planta de celulosa, ***la caldera de poder modula su operación para complementar el vapor suministrado por la caldera recuperadora para uso interno***, donde el nivel de seguridad de la operación resulta en un excedente de vapor que se inyecta como energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). **Termoeléctrica:** Las termoeléctricas suelen estar diseñadas para suministrar energía a la red eléctrica bajo un régimen más constante, y cualquier ajuste de la carga puede ser planificado y controlado más fácilmente, lo que contribuye a una mayor estabilidad operacional.

5. Fuente de incineración de gases DNCG, CNGC:

- **Caldera Recuperadora:** Durante el proceso de fabricación de celulosa se producen gases con distinta composición de TRS (Azufre Total Reducido) que debe ser tratado mediante un proceso de incineración. Aquí las calderas recuperadoras cumplen un rol fundamental como fuente de quemado. Este proceso de incineración supone un desafío adicional importante en la operación de estas calderas, ya que los gases también son otra fuente de variabilidad operativa, pues tanto su flujo como composición puede variar. Cabe mencionar si, que como fuente de quemado es una alternativa muy segura para esta función. De hecho, la combustión de TRS en la caldera



recuperadora es la mejor opción desde el punto de vista ambiental, por la captura del azufre que se genera por las reacciones químicas en su interior.

Caldera de Poder: La combustión de TRS en una caldera de poder como equipo alternativo permite a las Plantas de Celulosa asegurar el control de emisiones de TRS y cumplir con los límites de emisión y los niveles de cumplimiento establecidos en el DS 37/2013 del Ministerio del Medio Ambiente. Sin embargo, si la norma de emisión para centrales termoeléctricas se mantiene en los términos actuales, el cumplimiento de la norma sería inviable. Esto se debe a que el dióxido de azufre (SO₂) generado durante la combustión en la caldera de poder no es capturado, sino liberándose completamente a la atmósfera.

Conclusión:

Las calderas recuperadoras y calderas de poder de una Planta de Celulosa operan en un entorno más complejo y dinámico, o bajo condiciones menos estables o constantes que una termoeléctrica, debido a la variabilidad del combustible, la interdependencia con el proceso de producción de celulosa, el tratamiento o manejo de químicos o control de emisiones menos estable, y a las fluctuaciones en la demanda de vapor y energía. Estos factores hacen que el régimen de operación de ambas calderas (consideradas por la norma como cogeneradoras) sea menos estable y más difícil de controlar en comparación con una termoeléctrica, donde las condiciones son más homogéneas y predecibles.

De esta manera, el criterio de cumplimiento del 100% de los promedios horarios en régimen estacionario, establecido en la norma de emisión para termoeléctricas, no resulta viable para las calderas de las Plantas de Celulosa, debido a la naturaleza fluctuante del proceso y las limitaciones operativas inherentes. En consecuencia, excluir las unidades de cogeneración de dicha normativa sería una medida más realista. De no ser así, se debería establecer un enfoque basado en percentiles de cumplimiento y condiciones operativas que reflejen estas particularidades. Este aspecto requiere una discusión técnica detallada para definir criterios que se ajusten adecuadamente a las capacidades y restricciones del proceso. Por lo tanto, se recomienda regular las calderas de poder y las calderas recuperadoras a través de la norma de emisión para calderas, actualmente en desarrollo. ²

Sistema de Control de Emisiones en Procesos de Cogeneración

En el AGIES del Proyecto Definitivo de la Norma de emisión para centrales termoeléctricas, elaborado a partir del DS. N°13, de 2011, del MMA se reconoce a los



filtros de manga como tecnología de abatimiento o sistema de control de emisiones de Material Particulado (MP) para los procesos de cogeneración. En el contexto específico de las calderas recuperadoras y calderas de poder en Plantas de Celulosa, los filtros de manga no se usan porque no son adecuados para el control de emisiones de MP.

En su lugar, se utilizan precipitadores electrostáticos³ (ESP) y lavadores de gases, debido a las características particulares del proceso y las necesidades operativas. Cabe destacar que esta circunstancia se reconoce en el Informe Final “Generación de Antecedentes que permiten actualizar la propuesta de una norma de emisión para calderas”, de abril de 2024, elaborado por el DICTUC, en el que se sostiene: *“Las calderas de generación de la industria de la celulosa, que usan madera como combustible, operan también con precipitadores electrostáticos como equipos de control de las emisiones de material particulado”*. En efecto, Según la *Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales*, del MMA, la eficiencia de los filtros de manga es del 95%, mientras que los precipitadores electrostáticos alcanzan una eficiencia del 98% o más. Estos porcentajes de eficiencia reflejan la mayor efectividad de los ESP en la captura de material particulado en las condiciones específicas de operación de las calderas.

Esta elección se basa en diversas consideraciones técnicas y operativas específicas de este tipo de calderas, lo que garantiza un control más adecuado y eficiente de las emisiones, según se expone a continuación.

1. Naturaleza del Gas de Combustión:

- **Temperatura Elevada:** Los gases de combustión de una caldera recuperadora o caldera de poder podrían alcanzar temperaturas elevadas debido a la combustión del licor negro o biomasa. Los filtros de manga, que están compuestos por materiales textiles, tienen limitaciones de temperatura, generalmente soportando hasta 250-300°C, dependiendo del material. Exponer estos filtros a temperaturas más altas podría degradar rápidamente el material del filtro, reducir su vida útil, aumentar el riesgo de incendios, y aumentar los costos de operación.
- **Contenido de Ácido:** Los gases de combustión en una caldera recuperadora también pueden arrastrar sulfatos, debido a la presencia de compuestos de azufre en el licor negro, que en contacto con la tela de los filtros pueden formar

³ Es una práctica a nivel mundial el uso de precipitadores electrostáticos desde hace muchas décadas, justamente por su alta eficiencia de limpieza de los gases de combustión.



sustancias corrosivas. Estos ácidos pueden atacar el material de las mangas filtrantes, causando deterioro acelerado y fallas en el sistema de filtración.

2. Cantidad y Características del Material Particulado:

- **Características del Material Particulado:** El material particulado generado en la combustión del licor negro en una caldera recuperadora puede ser pegajoso y tener una composición química compleja, incluyendo carbonato de sodio, y otras sales⁴ que pueden ser higroscópicas (absorben humedad). Este tipo de material particulado puede adherirse a las mangas y formar costras duras, lo que dificulta la limpieza por sacudidas o impulsos de aire, reduciendo la eficiencia del filtro y aumentando los costos de mantenimiento.
- **Carga de Partículas:** Los filtros de manga están diseñados para manejar flujos con una carga de partículas relativamente constante y homogénea. Sin embargo, la variabilidad en la cantidad y composición del material particulado en los gases de combustión de una caldera recuperadora o caldera de poder podría causar sobrecarga y colapso en los filtros, disminuyendo su eficiencia, aumentando la frecuencia de mantenimiento y eventualmente generando una detención de la caldera con potenciales externalidades de tipo ambiental (emisión de particulado y venteo de gases).

3. Eficiencia Operativa y Mantenimiento:

- **Mantenimiento y Operación:** Los filtros de manga requieren un mantenimiento regular y riguroso para garantizar su eficiencia, incluyendo la limpieza de las mangas, reemplazo periódico y manejo de los residuos filtrados. En una caldera recuperadora, donde la operación ya es compleja debido a la recuperación de productos químicos y la generación de energía, el mantenimiento adicional que requeriría un sistema de filtros de manga puede no ser práctico y podría generar paradas operativas frecuentes, afectando la producción de la planta e incrementando emisiones.
- **Vida Útil Reducida:** La vida útil de los filtros de manga podría ser significativamente reducida debido a la agresividad de los gases y partículas de una caldera recuperadora, lo que incrementaría los costos operativos debido a la necesidad de reemplazos frecuentes.

⁴ El sulfato de sodio es la principal sal que se arrastra con los gases de combustión. También hay carbonato de sodio y sulfato ácido de sodio (NaHSO_4), dependiendo de las condiciones operacionales de la Caldera Recuperadora. El sulfato ácido es el que más contribuye a la adherencia de estas sales.



4. Comparación con Precipitadores Electroestáticos y Lavadores de Gases:

- **Precipitadores Electroestáticos (ESP):** Los ESP son altamente eficaces para capturar partículas en un amplio rango de tamaños y pueden operar a temperaturas elevadas sin degradarse. Además, no están sujetos a los problemas de adherencia y deterioro que afectan a los filtros de manga. Los ESP también pueden manejar grandes volúmenes de gas y altas cargas de partículas, lo que los hace más adecuados para las condiciones de operación de una caldera recuperadora y/o caldera de poder.
- **Lavadores de Gases:** Los lavadores de gases son efectivos para eliminar tanto partículas como gases, lo cual es crucial en una caldera recuperadora donde los lavadores pueden manejar fluctuaciones en la carga de partículas y composición de gases, proporcionando una mayor flexibilidad operativa en comparación con los filtros de manga.

Conclusión:

El uso de filtros de manga en calderas recuperadoras o calderas de poder no es adecuado como tecnología de abatimiento o sistema de control de emisiones de Material Particulado, debido a las altas temperaturas, la naturaleza corrosiva y adhesividad del material particulado, la carga variable de partículas, y las exigencias de mantenimiento que superan las capacidades y durabilidad de los filtros de manga. En cambio, los precipitadores electroestáticos y los lavadores de gases ofrecen una solución más eficiente y duradera para el control de emisiones en este tipo de equipos.

A su vez, los costos de inversión y operación de un precipitador electrostático (ESP) son significativamente más altos que los de un filtro de manga. Dependiendo de las especificaciones y el tamaño del equipo, los costos de inversión de un ESP pueden ser entre un 20% y un 50% más elevados que los de un filtro de manga. En cuanto a los costos operativos, la complejidad de los ESP, que requiere un sistema de control de alta precisión y un mayor consumo energético, también incrementa los costos en una proporción similar. Esto hace que el resultado del AGIES sea más desfavorable, ya que la elección incorrecta de filtros de manga como sistema de control de emisiones es inadecuada técnica y económicamente, comparada con el uso de precipitadores electrostáticos en estas aplicaciones.



Mejores Técnicas Disponibles para Producción de Celulosa y Papel

Best Available Techniques Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board ([BREF Pulp & Paper](#)) es un documento elaborado por la Unión Europea como parte de su estrategia para implementar la Directiva de Emisiones Industriales (IED, por sus siglas en inglés). Este documento es clave para establecer las **Mejores Técnicas Disponibles** (BAT, por sus siglas en inglés) que los diferentes tipos de industrias deben adoptar para minimizar su impacto ambiental.

En algunos países de la UE, el cumplimiento de los límites de emisión asociados a las BAT se implementa de manera gradual. Por ejemplo, las instalaciones nuevas deben cumplir con los límites establecidos de inmediato, mientras que las instalaciones existentes tienen plazos específicos para adaptarse. Estos plazos varían según el país y la complejidad del proceso industrial, pero generalmente se otorgan entre 1 y 4 años para alcanzar el cumplimiento total.

Además, algunos países han adoptado enfoques más flexibles, permitiendo que ciertas instalaciones existentes, debido a sus características particulares y/o antigüedad tengan periodos de transición más largos⁵ o que se les asignen valores límite intermedios antes de alcanzar los niveles definitivos de las BAT-AELs. Este enfoque gradual asegura que las instalaciones puedan realizar las inversiones necesarias en tecnología sin comprometer la viabilidad económica de la planta, a la vez que se promueve una reducción progresiva de las emisiones.

Contenidos Clave del BREF Pulp & Paper:

1. Mejores Técnicas Disponibles (BAT):

- Descripciones detalladas de las tecnologías y prácticas que representan las mejores técnicas disponibles para reducir emisiones y consumo de recursos.

2. Límites de Emisión Asociados a las BAT (BAT-AELs):

⁵ En Chile ya se cuenta con precedentes en este ámbito, como se demostró durante la elaboración de la primera norma de TRS, donde se proporcionaron antecedentes técnicos suficientes que permitieron otorgar plazos de cumplimiento más amplios para plantas existentes y de mayor antigüedad, como las de Constitución y Laja. Esto evidencia la viabilidad de considerar períodos de adaptación más prolongados para instalaciones existentes y que viabilicen su adaptación para el cumplimiento.



- Establece los rangos de emisión permitidos para sustancias como SO₂, NO_x, material particulado (PM), compuestos orgánicos volátiles (COV), entre otros.

3. Aspectos Ambientales Evaluados:

- Emisiones a la atmósfera.
- Emisiones al agua.
- Gestión de residuos.
- Uso de recursos como energía y agua.

4. Requisitos de Monitoreo:

- Métodos y frecuencias de monitoreo recomendados para asegurar el cumplimiento de los límites de emisión.

5. Ejemplos de Buenas Prácticas:

- Casos de estudio y ejemplos de implementación de BAT en diversas plantas de celulosa y papel en Europa.

6. Objetivo del BREF:

- Asegurar que las industrias europeas operen de manera más limpia y eficiente, cumpliendo con los requisitos de la IED, que tiene como objetivo reducir al mínimo la contaminación industrial en toda la UE.

Aplicación en la Industria:

Las empresas que operan plantas de celulosa y papel en la UE están obligadas a cumplir con las BAT descritas en el BREF. Esto implica la actualización de tecnologías, la implementación de prácticas de gestión más sostenibles, y la adaptación continua a las innovaciones tecnológicas para reducir el impacto ambiental.

Este documento es clave para la estrategia de la Unión Europea de minimizar el impacto ambiental de las industrias de celulosa y papel, y es un ejemplo de cómo la regulación puede impulsar la adopción de tecnologías más limpias en el sector industrial.

De acuerdo con el **Best Available Techniques Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board** (BREF Pulp & Paper) de la Unión Europea, los límites de emisión asociados a las Mejores Técnicas Disponibles (BAT-AELs) para



calderas recuperadoras en instalaciones nuevas y existentes están establecidos en rangos, dependiendo de factores como el tamaño de la planta, el tipo de combustible utilizado y la tecnología implementada.

Límites de Emisión para Calderas Recuperadoras según BAT-AELs:

Contaminante	Instalaciones Nuevas (BAT-AELs)	Instalaciones Existentes (BAT-AELs)
Material Particulado (PM)	5 - 20 mg/Nm ³	10 - 30 mg/Nm ³
Dióxido de Azufre (SO₂)	10 - 50 mg/Nm ³	20 - 100 mg/Nm ³
Óxidos de Nitrógeno (NO_x)	100 - 200 mg/Nm ³	150 - 300 mg/Nm ³

Dado que la norma de emisión para termoeléctricas exige que el cumplimiento de los límites de emisión para los parámetros de material particulado (MP) y dióxido de azufre (SO₂) se mantenga durante la totalidad de las horas en régimen, es necesario utilizar como valor de emisión el máximo del rango establecido en las Mejores Técnicas Disponibles (BAT). Para las calderas recuperadoras, este valor máximo es de 30 mg/Nm³ para material particulado (MP) y 300 mg/m³N para óxidos de nitrógeno (NO_x), considerando las variaciones operativas y condiciones de funcionamiento a lo largo del tiempo.

La norma de emisión para termoeléctricas establece un límite de emisión significativamente más estricto que el mejor desempeño ambiental definido en las Mejores Técnicas Disponibles (BAT) para las calderas recuperadoras, con un límite de 20 mg/m³N para material particulado (MP) y 175 mg/m³N para óxidos de nitrógeno (NO_x), lo que además resulta más exigente que los límites y plazos establecidos en los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA) para zonas saturadas. Además, esta norma exige que las Plantas de Celulosa cumplan con estos límites en 2 años, algo menor que en comparación con otros plazos incluidos en el Proyecto Definitivo. Este corto plazo resulta especialmente complejo de cumplir debido a la tramitación ambiental necesaria, el desarrollo de ingeniería, la fabricación e importación de partes y componentes, la construcción, y la puesta en marcha de las modificaciones requeridas, adecuar las actuales instalaciones para lograr reducir las emisiones aéreas conlleva a modificaciones complejas tanto para material particulados como para NO_x, puesto que:



- i) Material particulado: Requeriría la actualización del sistema eléctrico y agregar campos nuevos electrostáticos, lo cual puede ser complejo dado los espacios necesarios que esto implica como solución.
- ii) NO_x: Esto implica cambios significativos en el diseño del sistema de combustión de las calderas.

Es importante destacar que las paradas y partidas de calderas recuperadoras y calderas de poder son procesos complejos y prolongados que generan mayores emisiones. Por eso, es fundamental que estas operaciones se realicen solo cuando se cuente con un desarrollo avanzado de la ingeniería, y que se planifiquen cuidadosamente para evitar intervenciones adicionales necesarias para corregir fallos. Además, el plazo de 2 años propuesto no es adecuado, ya que no permite el tiempo necesario para implementar las mejoras solicitadas. En contraste, otras instalaciones han recibido plazos de hasta 5 años para cumplir con los límites de emisión. Cabe mencionar que la detención total de la planta, requerida para estos procedimientos, ocurre solo una vez al año y durante lapsos acotados.

Por último, que ninguna de las Plantas de Celulosa incorporadas a esta norma se encuentra en áreas declaradas como latentes o saturadas, lo que refuerza la necesidad de reevaluar la pertinencia y proporcionalidad de estos requisitos en el contexto específico de la industria de celulosa.



Límites de Emisión para Calderas de Poder según BAT-AELs:

Contaminante	Instalaciones Nuevas (BAT-AELs)	Instalaciones Existentes (BAT-AELs)
Material Particulado (PM)	2 - 10 mg/Nm ³	5 - 20 mg/Nm ³
Dióxido de Azufre (SO ₂)	20 - 75 mg/Nm ³	50 - 200 mg/Nm ³
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	50 - 150 mg/Nm ³	100 - 200 mg/Nm ³

Características Específicas del BREF Pulp & Paper:

1. Material Particulado (PM):

- Para instalaciones nuevas, los límites son más estrictos debido a la posibilidad de instalar tecnologías más avanzadas, como precipitadores electrostáticos y lavadores de gases en configuraciones más eficientes.
- Para instalaciones existentes, el rango es un poco más amplio, considerando las limitaciones en la adaptación de tecnologías nuevas en plantas ya operativas.

2. Dióxido de Azufre (SO₂):

- Las BAT recomiendan el uso de tecnologías de desulfuración y control de combustibles para reducir las emisiones de SO₂.
- Las instalaciones nuevas tienen límites más estrictos, promoviendo la utilización de combustibles con bajo contenido de azufre o la instalación de lavadores de gases.

3. Óxidos de Nitrógeno (NO_x):

- El control de NO_x se basa en la optimización de la combustión y el uso de tecnologías de reducción como SCR (Selective Catalytic Reduction).
- Nuevamente, los límites son más estrictos para instalaciones nuevas debido a las mejores oportunidades de integración de estas tecnologías desde el diseño.

**Consideraciones:**

- Estos límites están diseñados para ser alcanzables con la implementación de las Mejores Técnicas Disponibles (BAT) mencionadas en el BREF. Las empresas que operan dentro de la Unión Europea deben cumplir con estos rangos para minimizar su impacto ambiental.
- En instalaciones nuevas, es obligatorio implementar las tecnologías más avanzadas para acercarse a los límites más bajos del rango, mientras que las instalaciones existentes deben mejorar sus procesos para cumplir con los límites establecidos para plantas más antiguas.
- Los límites pueden variar según el tipo de combustible utilizado (petróleo, gas natural, biomasa, etc.), con algunos combustibles permitiendo emisiones más bajas debido a su composición.



Mejores Técnicas Disponibles para Centrales Termoeléctricas

Best Available Techniques Reference Document for Large Combustion Plants (BREF LCP) Este BREF está destinado a regular las emisiones de centrales termoeléctricas, que incluyen:

Contenido Clave del BREF para Centrales Termoeléctricas (LCP):

1. Alcance:

- Aplica a plantas de combustión con una potencia térmica nominal igual o superior a 50 MW.
- Cubre diferentes tipos de combustibles, como carbón, petróleo, gas natural, biomasa, y residuos industriales.

2. Mejores Técnicas Disponibles (BAT):

- Descripciones de las tecnologías y prácticas recomendadas para la reducción de emisiones de contaminantes clave como SO₂, NO_x, y material particulado (PM).
- Tecnologías como **desulfurización de gases de combustión (FGD)**, **reducción catalítica selectiva (SCR)**, **precipitadores electrostáticos** y **lavadores de gases** se destacan como BAT para el control de emisiones.

3. Límites de Emisión Asociados a las BAT (BAT-AELs):

- Los BAT-AELs son los rangos de emisión que las instalaciones deben cumplir cuando implementan las BAT.
- Estos límites son más estrictos para nuevas instalaciones en comparación con las existentes, reflejando el avance en las tecnologías disponibles.

Límites de Emisión para Termoeléctricas según BAT-AELs:

Contaminante	Instalaciones Nuevas (BAT-AELs)	Instalaciones Existentes (BAT-AELs)
Material Particulado (PM)	2 - 10 mg/Nm ³	5 - 20 mg/Nm ³
Dióxido de Azufre (SO ₂)	20 - 75 mg/Nm ³	50 - 200 mg/Nm ³



Contaminante	Instalaciones Nuevas (BAT-AELs)	Instalaciones Existentes (BAT-AELs)
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	50 - 150 mg/Nm ³	100 - 200 mg/Nm ³

Características Específicas del BREF LCP:

- **Material Particulado (PM):** Las BAT para el control de PM incluyen el uso de filtros de mangas o precipitadores electrostáticos con alta eficiencia de captura, especialmente en instalaciones que utilizan combustibles sólidos.
- **Dióxido de Azufre (SO₂):** Las tecnologías recomendadas para la reducción de SO₂ incluyen sistemas de desulfurización húmeda, seca o semi-seca, siendo los primeros los más efectivos para alcanzar los límites más bajos en instalaciones nuevas.
- **Óxidos de Nitrógeno (NO_x):** La reducción de NO_x se aborda mediante técnicas de combustión optimizadas, como la combustión en etapas y la recirculación de gases de escape, así como mediante tecnologías de reducción post combustión como SCR.

Consideraciones Adicionales:

- El BREF LCP también incluye recomendaciones sobre eficiencia energética, gestión del agua y residuos, y la integración de combustibles renovables en las plantas para minimizar el impacto ambiental.
- Como en el caso del BREF Pulp & Paper, las empresas en la Unión Europea deben cumplir con estos límites y adoptar las BAT correspondientes para reducir las emisiones y mejorar la sostenibilidad de sus operaciones.

El BREF para Centrales Termoeléctricas es esencial para la regulación de termoeléctricas, asegurando que estas instalaciones operen dentro de los límites de emisión más estrictos posibles, reduciendo así su impacto sobre el medio ambiente.



Ajustes Propuestos al Proyecto Definitivo de Norma de Emisión para Termoeléctricas

Según los antecedentes expuestos con anterioridad, se proponen los siguientes ajustes al Proyecto Definitivo de la Norma de emisión para centrales termoeléctricas, elaborado a partir del DS. N°13, de 2011, del MMA:

1. **Exclusión de las Calderas Recuperadoras y Calderas de Poder:** Se propone que las calderas recuperadoras y calderas de poder de las Plantas de Celulosa continúen excluidas del cumplimiento de la Norma de emisión para centrales termoeléctricas, tal como se estableció en el DS. N°13, de 2011, del MMA. Estas calderas operan bajo condiciones y procesos significativamente diferentes a los de las termoeléctricas convencionales, lo que justifica su exclusión. La naturaleza del combustible utilizado (licor negro y biomasa), junto con la variabilidad operativa inherente al proceso de producción de celulosa, hace que estas calderas no sean comparables con las unidades generadoras de energía convencionales en términos de emisiones y requisitos de control. Por lo tanto, mantener su exclusión es plenamente justificado.

Lo anterior se encuentra respaldado por el Ministerio de Energía en "Minuta respecto al anteproyecto de norma de emisión para centrales termoeléctricas", de 26 de enero de 2024, que establece que: "*La norma vigente exceptúa de la regulación a calderas y turbinas que forman parte de procesos de cogeneración (art.2). El anteproyecto de norma propone incorporar a la regulación a las cogeneradoras, al no excluirlas explícitamente, como lo hace la norma de emisión vigente. **Estas fuentes cogeneradoras debieran ser reguladas por la norma de emisión para calderas y procesos de combustión, por lo que no sería necesario regularlas con esta norma***"⁶.

2. **Unidad de Generación Eléctrica en Plantas de Celulosa:** Es importante comprender que la Unidad de Generación Eléctrica (UGE) de las plantas de celulosa está conformada únicamente por calderas de poder. Toda la energía térmica producida por las calderas recuperadoras se utiliza internamente en la planta de celulosa como vapor o energía eléctrica. Son las calderas de poder las que generan el excedente de energía eléctrica que se inyecta al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), cumpliendo un rol clave para estabilizar el proceso de producción

⁶ Expediente Público de Revisión de la Norma de emisión para centrales termoeléctricas, D.S. N°13 de 2011, Folio N°2531.



de vapor en la industria. Esta interdependencia operativa y variabilidad de carga justifican el tratamiento diferenciado de estas unidades.

Aquello también se encuentra respaldado por el Ministerio de Energía en "Minuta respecto al anteproyecto de norma de emisión para centrales termoeléctricas", de 26 de enero de 2024, que señala que: "*Las cogeneradoras generan vapor y energía eléctrica para sus propios procesos y los excedentes de energía eléctrica los venden, pero no es el giro de sus negocios vender energía eléctrica, a diferencia de las centrales termoeléctricas reguladas por esta norma*"⁷.

3. **Introducción del Percentil de Cumplimiento de los Límites de Emisión:** En caso de que se considere la inclusión de las calderas recuperadoras y de poder bajo el alcance de la norma, sería fundamental incorporar un percentil de cumplimiento para los límites de emisión. La naturaleza variable y dinámica de la operación de estas calderas, estrechamente ligadas a la producción de celulosa y las fluctuaciones en la carga de combustible, hacen necesaria la adopción de un percentil de cumplimiento similar al utilizado en los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA). Esto permitiría un cumplimiento más realista y acorde a las condiciones operativas particulares de estas calderas.
4. **Revisión de los Límites de Emisión:** Si las calderas recuperadoras y de poder fueran incluidas bajo la norma, se propone ajustar los límites de emisión de material particulado (MP) y óxidos de nitrógeno (NO_x) a 30 mg/m³N y 300 mg/m³N, respectivamente. Estos valores son consistentes con el mejor desempeño ambiental posible para este tipo de calderas, tal como lo establece el *Best Available Techniques Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board (BREF Pulp & Paper)* de la Unión Europea.
5. **Ampliación del Plazo para el Cumplimiento de los Límites de Emisión:** Finalmente, en caso de que se insista en regular las calderas de poder y recuperadoras de plantas de celulosa, se propone extender el plazo para que las plantas de celulosa puedan cumplir con los nuevos límites de emisión a un período de 4 años. Este plazo, coherente con los períodos de transición otorgados en la Unión Europea para instalaciones comparables, permitiría que las plantas realicen las inversiones necesarias para adaptar sus procesos sin, necesariamente, comprometer su viabilidad operativa.

⁷ Ibid.



6. Lo anterior fue respaldado por lo demás, una transición gradual y realista es clave para asegurar el cumplimiento efectivo de la normativa.

Referencia: Ministerio de Energía en "Minuta respecto al anteproyecto de norma de emisión para centrales termoeléctricas", de 26 de enero de 2024, que establece que: *"El AGIES de la norma, actualmente no considera los costos de adaptación tecnológica que debieran hacer las cogeneradoras para cumplir con los valores de emisión de MP, SO₂, NO_x propuestos, tampoco se consideran los costos de instalación y operación de los CEMS, ni los costos de fiscalización adicionales para la SMA, ni los beneficios de reducción de emisiones, asociados a estas fuentes"*⁸.

Estimación de Costos y Etapas Necesarias para la Adecuación de Equipos y

Procesos: Para estimar los costos que las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) consideradas supondrían para la industria, se ha elaborado una estimación propia de los costos de inversión, tomando en consideración costos directos (por especialidad, incluyen suministro de material, mano de obra, montaje y herramientas, gastos generales y utilidades), costos indirectos y un 20% por contingencias.

El plazo de 2 años para cumplir con los nuevos límites es totalmente insuficiente, considerando que la adecuación de equipos y procesos requiere del desarrollo de, al menos, las siguientes etapas:

- Evaluación técnica de la eficiencia y factibilidad de implementación con objeto de determinar la mejor solución tecnológica para cumplir con los nuevos límites.
- Desarrollo de estudios de ingeniería conceptual.
- Estudios de ingeniería de detalle.
- Licitación con proveedores, fabricación y entrega de equipos e importación (12 a 18 meses).
- Consulta de pertinencia / ingreso al SEIA en caso de corresponder (de 6 meses a 2 años).
- Construcción o montaje. Cabe considerar que estos proyectos deben ser ejecutados en la Parada General de Planta anual, por la magnitud del trabajo, el tiempo total de intervención y condiciones de seguridad para las personas (no es posible ejecutar durante la operación normal de la planta).

⁸ Ibid, Folio N°2532.



- Comisionamiento y puesta en marcha.

Por ello, al establecer estos plazos para la entrada en vigor de los nuevos límites de emisión, y atendido las modificaciones sustantivas que deben introducirse en el proceso para cumplirlos, se vulnera el principio de gradualidad (o progresividad) que rige en materia de regulación ambiental.

Se puede concluir que los costos de inversión, de mantenimiento y operacionales son mucho mayores a los considerados por el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del proyecto definitivo, por lo que resulta necesario adecuar su estimación para ponderar correctamente el cálculo de los beneficios.



Anexo sobre Resolución de Calificación Ambiental (RCA) asociadas a estos procesos

Planta	Establecimiento	Fuente	N° de Registro de Fuentes y Procesos (RFP)	RCA Asociada
Constitución	VU-2396	Caldera Recuperadora	CR-PCL-1640	244/1996
		Caldera de Poder	CG-GEV-1638	244/1996
Arauco	VU-2397	Caldera Recuperadora 2	CR-PCL-6494	125/2008 37/2014
		Caldera Recuperadora 3	CR-PCL-47633	37/2014
		Caldera de Poder 2	CG-GEV-1434	125/2008 37/2014
		Caldera de Poder 4	CG-GEV-1437	125/2008 37/2014
		Caldera de Poder 5	CG-GEV-47632	37/2014
Licancel	VU-85016	Caldera Recuperadora	CR-PCL-1869	126/2019
		Caldera de Poder	CG-GEV-1868	308/2006
Nueva Aldea	VU-85017	Caldera Recuperadora	CR-PCL-1342	76/2005 42/2010
		Caldera de Poder	CG-GEV-678	76/2005 42/2010
Valdivia	VU-85018	Caldera Recuperadora	CR-PCL-1766	279/1998 76/2009
		Caldera de Poder	CG-GEV-1757	279/1998 76/2009
Viñales	VU-4473	Caldera de Poder	IN-GEV-19074	80/2009
Trupán	VU-4586116	Caldera de Poder	IN-GEV-7080	87/2001
Laja	VU-3216	Caldera de Poder	CG-GEV-9285	056/2004 203/2009
Laja	VU-3216	Caldera Recuperadora	IN-GEV-9434	056/2004 203/2009
Pacifico	VU-322488	Caldera de Poder 1	CG-GEV-15538	21/2004 48/2005
	VU-322488	Caldera Recuperadora	IN-GEV-9434	1576/2008 2719/2005 92/2001
Santa Fe	VU-3522	Caldera de Poder 1	CG-GEV-14980	039/2010 066/2004
	VU-3522	Caldera de Poder 2	EL-OR-46236	039/2010 066/2004 285/2009
	VU-3522	Caldera Recuperadora 1	IN-GEV-2217	039/2010 066/2004



	VU-3522	Caldera Recuperadora 2	IN-GEV-20210	039/2010 066/2004
Cordillera	VU-2897	Caldera de Poder	IN-GEV-1914	58/2001 206/2013
